

Permeabilidad del arbolado urbano a la radiación solar: Estudio de dos especies representativas en entornos urbanos de baja densidad del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina

Permeability of urban forests to solar radiation: a study of two representative species in low-density urban environments in the Mendoza Metropolitan Area



Mariela Edith Arboit marboit@lab.cricyt.edu.ar

Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (INCIHUSA – CONICET) – Mendoza, Argentina



RESUMEN

Palabras Clave

Desarrollo urbano sustentable,
Morfología urbana,
Arbolado urbano,
Potencial solar

El objetivo del trabajo es generar conocimientos que permitan determinar la influencia del arbolado urbano, público o privado, sobre el potencial solar de los entornos urbano- edificios de baja densidad del Área Metropolitana de Mendoza (AMM). El estudio de la permeabilidad del arbolado urbano ha sido desarrollado para situaciones típicas del área de Capital, Mendoza, representada por especies como: Plátano 21,80%, Morera 32,7%, Fresno europeo 20,95% y Paraíso 2,72% (Cantón, 1994-2000). Sin embargo para determinar la permeabilidad arbórea de entornos urbanos de baja densidad del AMM, en una primera etapa fue necesario realizar una recolección muestral que permitió identificar la presencia de ejemplares no evaluados como Acer 9,95% y Paraíso sombrilla 8,37%. En una segunda etapa, se elaboró un plan de mediciones para un ciclo anual, sobre un conjunto de 8 ejemplares por especie seleccionada. Los resultados obtenidos indican una reducción de la energía solar disponible, del 52,88% al 75,93% en la estación de invierno y del 85,96% al 98,38 % en verano para Acer y Paraíso Sombrilla respectivamente. El estudio ha permitido avanzar en la determinación del potencial solar en ambientes urbanos considerando la permeabilidad de dos especies arbóreas representativas del AMM.

ABSTRACT

Key Words

Urban sustainable development,
Urban morphology,
Urban forest,
Solar potential

The objective of this article is to generate knowledge to determine the influence of urban forests, public or private, on the solar potential of low-density urban environments in the Mendoza Metropolitan Area (MMA). The urban forest permeability study had been developed for situations typical of Mendoza, with species such as: London plane (*Platanus acerifolia*) 21,80%, White mulberry (*Morus alba*) 32,71%, European ash (*Fraxinus excelsior*) 20,95%, and Chinaberry (*Melia azedarach*) 2,72% (Cantón, 1994-2000). However, to determine the permeability of forests to solar radiation in low-density urban areas of the MMA, in the first stage it was necessary to collect samples to identify the presence of species untested for permeability, including Box elder (*Acer negundo*) 9,95% and Umbrella Chinaberry (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*) 8,37%. In the second stage, a measurement plan was developed for a yearly cycle, for a group of 8 trees of each selected species. The results obtained indicate a reduction in the solar energy available from 52,88% to 75,93% in winter, and from 85,96% to 98,38% in summer for Box elder y Umbrella Chinaberry respectively. The study has made progress in determining the solar potential in urban environments considering the permeability of two representative tree species in the Mendoza Metropolitan Area.

1. Introducción

Los espacios verdes urbanos proveen grandes beneficios sociales y ambientales que favorecen la calidad de vida en las ciudades. La contribución del arbolado urbano en la mejora del microclima, de la calidad del aire y de vida en las ciudades está muy bien documentada (Bernatzky, 1982; Rowntree, 1986; McPerson, 1992; Scudo, G. 2003; Santamouris, M. 2000; Mascaró, L. 1996). También el acceso a los recursos climáticos, los indicadores agronómicos y la funcionalidad del arbolado urbano son directamente influenciados por el tipo de árboles en la escala urbana y edilicia; la selección de la arboleda aborda temas como la optimización del recurso hídrico, aumento de la diversidad de especies, longevidad y contextualización histórico-cultural (Arnold, 1980; Flemer, 1981; Richards, 1992; Martínez, 2008) una correcta selección de especies a largo plazo, debería dar lugar a un arbolado saludable, gestionable y sostenible (Clark et al. 1997).

En el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) se han desarrollado varios estudios específicos a partir de conjuntos representativos de la morfología urbano-edilicia determinando el potencial solar de entornos de baja y alta densidad (de Rosa, 1988; Córca, L. 2004; Fernández, J. 1992; Mesa, 2000; Basso, 2003; Arboit, 2008, 2010). Dentro del PICT 98 N° 13-04605, desarrollado por la Unidad de Investigación y Desarrollo (UID) INCIHUSA-CONICET, no se pudo completar, por razones atendibles respecto de su financiamiento, el estudio de la incorporación del arbolado urbano y sus características de permeabilidad en el análisis del potencial solar de los entornos representativos del AMM, quedando un importante campo por estudiar en los que cobra particular relevancia la escala de las construcciones, las características de los espacios abiertos y la presencia del arbolado urbano (Cantón, et. al. 1994, 2000, 2003). El estudio de la incorporación del arbolado en los modelos de simulación y la valoración del impacto de la variable arbolado urbano en el potencial solar de entornos urbanos de baja y alta densidad se desarrolló a partir de 2005 en la UID (Arboit 2005-2013). Los resultados alcanzados hasta el momento demuestran que el arbolado urbano, una característica distintiva del Área Metropolitana de Mendoza (AMM), tiene una incidencia de primer orden en el potencial solar de los edificios urbanos. (Modelo Gráfico y Modelo Estadístico. Arboit 2008, 2010).

La arboleda del espacio público de la ciudad está caracteriza por tres variables primarias: 1. La magnitud (dependiente de las características morfológicas y dimensionales de la especie arbórea: forma, altura y diámetro de la copa), 2. La permeabilidad estacional del follaje de las especies caducifolias (dependiente de la especie y su ciclo de foliación) a la radiación solar directa; y por último, 3. La plenitud, que expresa en porcentaje la cantidad de ejemplares existentes alrededor de una manzana respecto a la cantidad máxima posible, teniendo en cuenta la distancia adecuada entre individuos (Figuras 1,2 y 3).

Las especies arbóreas presentes en el medio urbano se relacionan con la evolución histórica de la ciudad, los ejemplares han sido plantados en distintos periodos de expansión urbana dando lugar a ejemplares de gran desarrollo que conforman una estructura uniforme, continua y abovedada sobre todo en entornos consolidados, y ejemplares jóvenes en donde la estructura de plantación arbórea es más abierta y discontinua. (Bórmida, 2005; Panasiti, A. 1994; Tacchini, J. 1994)

En el AMM la cantidad de árboles en la vía pública asciende a 900 mil (Tabla 1).

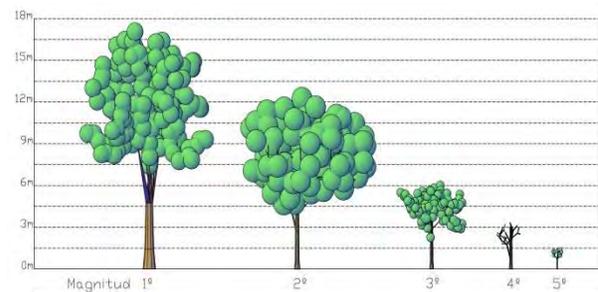


Figura 1: Magnitud del arbolado.
Figure 1: Tree size.

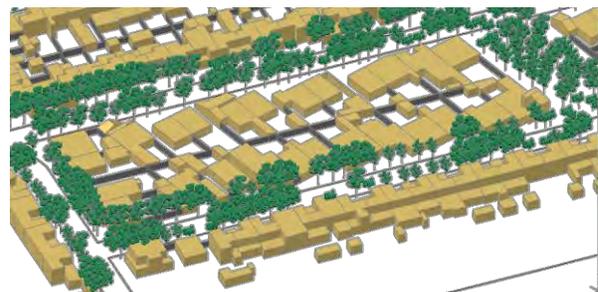


Figura 2: Plenitud del arbolado.
Figure 2: Woodland fullness.

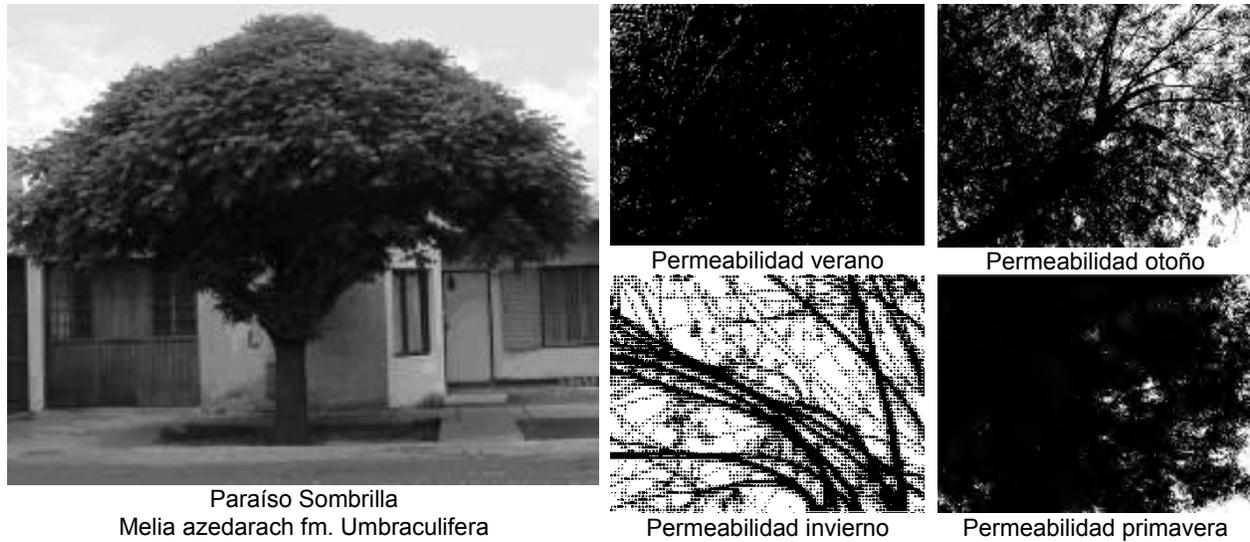


Figura 3: Imágenes blanco y negro de permeabilidad.
Figure 3: Black and white images of permeability.



La zona definida como universo de análisis es el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) y ocupa actualmente una superficie urbanizada de aproximadamente 114.000 hectáreas, con una estructura lineal dominante en el sentido Norte-Sur. Está desarrollada sobre un oasis de cultivo con riego artificial, lindando su borde oeste con el piedemonte andino, es decir, la zona desértica natural de la región. El tejido urbano está integrado por la geometría de las manzanas, la morfología de los volúmenes construidos, las áreas verdes, acequias y arboleda. Mendoza urbana fue creciendo en torno a la red de acequias que antiguamente irrigaron sus cultivos y sus calles se alinearon paralelamente a las hijuelas, respondiendo a la necesidad de sobrevivir en medio de un desierto, este crecimiento no previó el consecuente crecimiento anárquico ni la expansión sobre tierras cultivadas (Montaña, E. 2005; Pastor, 2010; Bórmida, 2005; Tacchini, J. 1994).

Áreas Verdes: La interconexión entre plazas y parques, a través de las calles arboladas, conforma un mosaico de verde integral, una verdadera red verde que aumenta la calidad del espacio público. (Bórmida, 2005; Panasiti, A. 1994; Tacchini, J. 1994).

Del total de la superficie analizada del AMM el 8,44% está representada por áreas verdes si bien sólo el 6,40% de las áreas verdes están consolidadas (Figura 4) (Arboit, 2012).

Figura 4: Áreas verdes.
Figure 4: Green areas.

Se toma como referente para el estudio, el trabajo de relevamiento de especies representativas en la Ciudad de Mendoza (Cantón, 2000). En la temática de la forestación urbana en zonas áridas argentinas; los trabajos: a. El Método fotográfico- computacional de determinación de la permeabilidad del arbolado a la RS (radiación solar); b. El Modelo analítico-computacional de determinación del área

sombreada por árboles de forma asimilada a esferas y elipsoides de revolución; y c. Modelo analítico- computacional de determinación de la energía solar disponible en medios urbanos forestados (Cantón, 1993- 2004) y estudios de determinación de permeabilidades arbóreas en invierno y verano de especies forestales más usuales de la forestación pública de las ciudades de Mendoza y de San Juan, (Cantón 1996, 2001;

Papparelli, 1996; Kurbán, 2002) han sido tomados como referentes.

Tabla 1: Cantidad de árboles por departamento. Fuente: Informe Municipalidades.

Table 1: Quantity of trees per public district. Source: Informe Municipalidades.

Departamento	N° de Árboles
Capital	50000
Las Heras	70000
Godoy Cruz	120000
Maipú	120000
Luján de Cuyo	160000
Guaymallén	370000

Tabla 2: Permeabilidad de las especies presentes en el medio urbano. Fuente: Cantón 1993,1996, 2001.

Table 2: Permeability of the species present in urban environments. Source: Cantón 1993,1996, 2001.

	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Plátano	14,21	24,09	38,61	16,39
Morera	11,70	36,21	41,06	14,53
Fresno	15,96	27,47	12,91	18,88
Paraíso	22,23	46,23	48,00	19,79

Sin embargo para determinar la permeabilidad arbórea a la radiación solar en entornos urbanos de baja densidad del AMM, ha sido necesario realizar un análisis de la representatividad de especies y ampliar los casos de estudio a dos nuevas especies.

1.1 Representatividad de las especies en el Área Metropolitana de Mendoza.

En los entornos de baja densidad existe una relación de uniformidad de plantación de especies en morfologías urbanas de construcción regular y homogénea pertenecientes a los conjuntos habitacionales de viviendas sociales, contrariamente, en morfologías urbano-edilicias heterogéneas de construcción lote a lote la implantación de especies es también heterogénea e irregular. A partir del relevamiento fotográfico in-situ de 1,750 ejemplares (Arboit, 2008) se determinaron muestras de las especies más usuales de 32 entornos urbanos representativos

de baja densidad (Arboit, 2010) detectando dos situaciones características en función del patrón de disposición espacial: 1. ejemplares individuales y 2. en condición de contiguos con un grado de adaptabilidad aceptable (ejemplares apareados).

Los resultados de esta etapa muestran que el sistema de entramado del arbolado urbano público en entornos de baja densidad del AMM se encuentra representado por especies como Morera (*morus alba*) 41,68%, Fresno europeo (*Fxaxinius excelsior*) 13,05% y Paraíso (*Melia azedarach*) 3,58%, existen en urbanizaciones recientes fuertes tendencias de plantación de Acer (*Acer negundo*) 9,95% y Paraíso sombrilla (*Melia azedarach fm. umbraculifera*) 8,37%, las dos últimas con gran variedad morfológica de ejemplares (Tablas 3 y 4, Figura 5).

Tabla 3: Resultados de la muestra en entornos de baja densidad analizados. Fuente: Martínez, 2005.

Table 3: Results of the sample from low-density environments analyzed. Source: Martinez, 2005.

N°	Especie	%
1	Morera (<i>Morus alba</i>)	41,68
2	Fresno europeo (<i>Fxaxinius excelsior</i>)	13,05
3	Acer (<i>Acer negundo</i>)	9,95
4	Paraíso sombrilla (<i>Melia azedarach fm. umbraculifera</i>)	8,37
5	Otros	26,95

Tabla 4: Resultados de otras especies encontradas en entornos de baja densidad del AMM. Fuente: Martínez, 2005.

Table 4: Results of other species found in low-density environments in the MMA. Source: Martinez, 2005.

N°	Especie- Otros	%
1	Acacia (visco 50% y blanca 50%) (<i>Robinia pseudoacacia</i>)	4,00
2	Olmo (<i>Ulmus carpiniifolia</i>)	3,95
3	Fresno americano (<i>Fraxinus americana L.</i>)	3,68
4	Paraíso (<i>Melia azedarach</i>)	3,58
5	Ciruelo rojo (<i>Prunus cerasifera var. Pisardii</i>)	2,16
6	Liquidambar (<i>Liquidambar styraciflua</i>)	1,68
7	Otros	7,98



Figura 5: Representatividad porcentual del arbolado en entornos de baja densidad del AMM. Fuente: Martínez, 2005.

Figure 5: Representative percentages of urban forest in low-density environments in the MMA. Source: Martínez, 2005.

2. Metodología

2.1 Permeabilidad del Arbolado

Selección de Ejemplares

Siguiendo la metodología desarrollada en la UID, se seleccionó un conjunto de 8 ejemplares por especie, contemplando la diversidad de formas de los ejemplares de una misma especie presentes en las condiciones urbanas de baja densidad analizadas.

Se determinaron 4 subclases dentro de cada tipología para las dos especies seleccionadas *Acer (Acer negundo)* y *Paraíso sombrilla (Melia azedarach fm. umbraculifera)* por las características morfológicas de su copa A. B. C. D (Figuras 6-9).

La selección incluyó un análisis de los diversos indicadores agronómicos, urbanos y edilicios. Los Indicadores Agronómicos tienen como criterio de selección: uniformidad de especies, tamaño de plantación, magnitud forestal, forma del árbol, ancho de copa (diámetros cruzados- altura de fuste y total), diámetro de tronco, ángulo de inserción de ramas. Además de la pendiente del terreno, las intervenciones por poda, el riego, fertilización y tratamientos fitosanitarios. Otros indicadores son los Urbanos, los cuales se determinan en base a la forma y orientación de las manzanas, el ancho de canal vial, ancho vereda, ancho cantero (tipo), ubicación en vereda, acequias- corte y materialidad, abertura tipo para riego de arbolado, retiros edilicios de la línea municipal, posición relativa del ejemplar (distancia de ejemplares próximos). Por último se consideran los indicadores edilicios: morfología edilicia, factor de forma, FOS, FOT, saliente s/vereda y perfil de la construcción.

2.1.2 Determinación de la permeabilidad del arbolado.

La metodología para determinar la permeabilidad del arbolado a la radiación solar se basa en la toma de imágenes y el cómputo por software de imágenes fotográficas que permite cuantificar la radiación solar disponible en medios urbanos vegetados (Cantón 1993,1996, 2001).

Toma y procesamiento de imágenes

El método se basa en la toma de imágenes de alto contraste entre la copa del árbol y el cielo, tomadas en ausencia de sol desde el plano de sombra arrojada por el copa y en un ángulo de altitud y azimut coincidentes con los del sol. El programa de mediciones fue organizado en cuatro periodos que corresponden con las distintas estaciones de un ciclo anual (Figura 10).

La densidad de la copa de los árboles no es homogénea, por lo tanto, sobre cada uno de ellos se realizaron tomas fotográficas desde cuatro puntos equidistantes del tronco de modo de obtener un valor promedio de permeabilidad de las diferentes zonas de la copa del árbol (Figura 11).

Las imágenes son procesadas por un programa de tratamiento de imágenes Photofinish; a los efectos de convertir las mismas a blanco y negro. (Fig. 13, 15 y 16). Se define posteriormente las áreas de interés para el estudio de permeabilidad (Figura 14 y 16).

Mediante un programa de conteo de puntos blancos y negros desarrollado en UID (Cantón 1993,1996, 2001), se procesaron las imágenes, obteniendo los valores medios de permeabilidad por especie. El programa reproduce en la pantalla la imagen gráfica e imprime el porcentaje de permeabilidad, la cantidad de líneas y píxeles/línea y el nombre del archivo.

3. Resultados

Se presentan los resultados para las estaciones de verano e invierno calculado para una de las muestras, con el fin de identificar en forma detallada la totalidad del trabajo realizado con cada ejemplar arbóreo. La misma metodología de trabajo se realizó para primavera y otoño y para los 8 ejemplares evaluados.

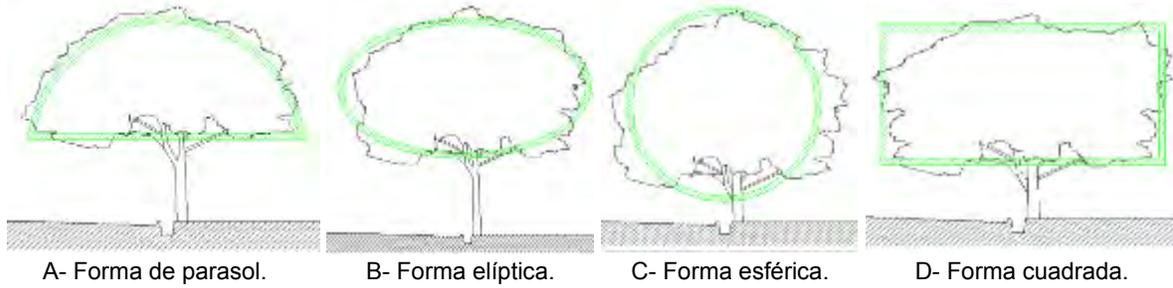


Figura 6: Tipos de Copa de Paraíso Sombrilla (*Melia azedarach fm. umbraculifera*). Tipología Individual (Tipologías C y D no permite el paso por debajo de la copa). Fuente: Martínez, 2005.

Figure 6: Umbrella Chinaberry (*Melia azedarach fm. umbraculifera*) Crown Types. Individual Typology (Types C and D do not allow passage below the crown.). Source: Martínez, 2005.

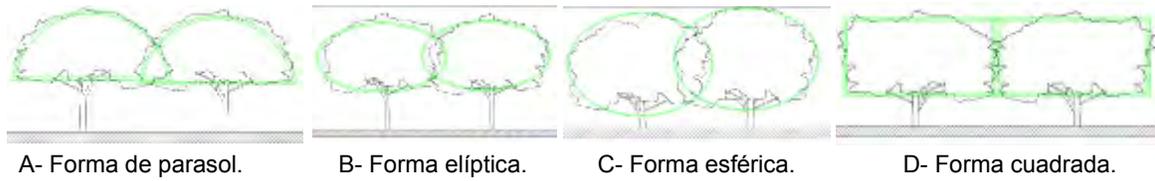


Figura 7: Tipos de Copa de Paraíso Sombrilla (*Melia azedarach fm. umbraculifera*). Tipología Agrupada y Solapada. (Tipologías C y D no permite el paso por debajo de la copa). Fuente: Martínez, 2005.

Figure 7: Umbrella Chinaberry (*Melia azedarach fm. umbraculifera*) Crown Types. Grouped and Overlapping Typology (Types C and D do not allow passage below the crown.). Source: Martínez, 2005.

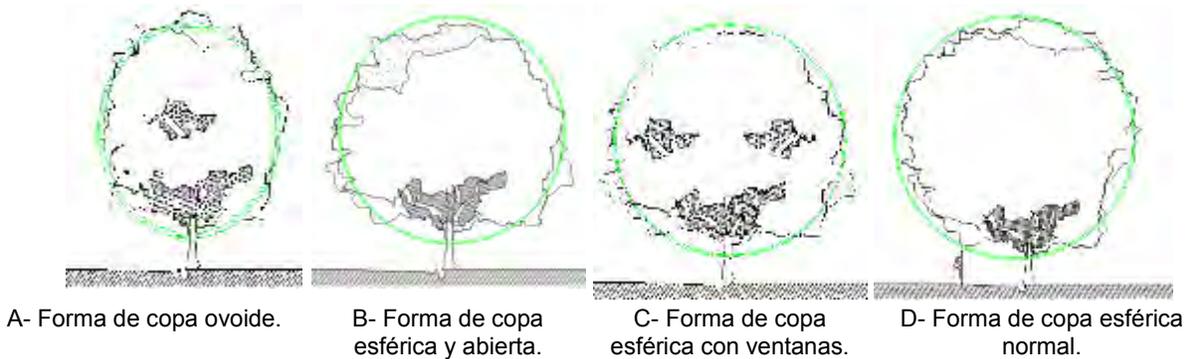


Figura 8: Tipos de Copa de ACER (*Acer negundo*). Tipología Individual. Fuente: Martínez, 2005.

Figure 8: Box elder (*Acer negundo*) Crown Types. Individual Typology). Singular type. Source: Martínez, 2005.

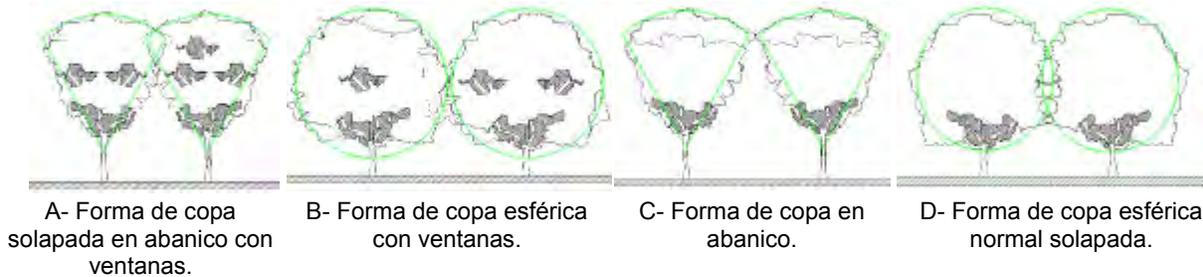


Figura 9: Tipos de Copa de ACER (*Acer negundo*). Tipología Agrupada. Fuente: Martínez, 2005.

Figure 9: Box elder (*Acer negundo*) Crown Types. Grouped and Overlapping Typology. Source: Martínez, 2005.



Figura 10: Fotos de cuatro períodos de mediciones. Acer Tipología Individual.
 Figure 10: Photos of four measurement periods. Box elder Individual Typology.

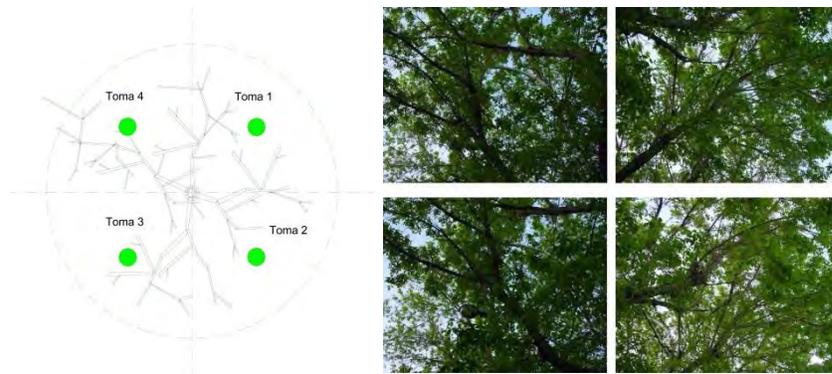


Figura 11: Metodología de toma de imágenes. Período primavera (fecha de foto 27/09). Acer Tipología Individual. Forma de copa esférica.

Figure 11: Image-Taking Methodology. Spring period (photo date 27/09). Box elder Individual Typology. Spherical crown shape.



Figura 12: Imagen color.
 Figure 12: Color image.



Figura 13: Imagen blanco y negro.
 Figure 13: Black and white image.



Figura 14: Selección del área de interés.
 Figure 14: Selection of area of interest.



Figura 15: Imagen blanco y negro.
 Figure 15: Black and white image.

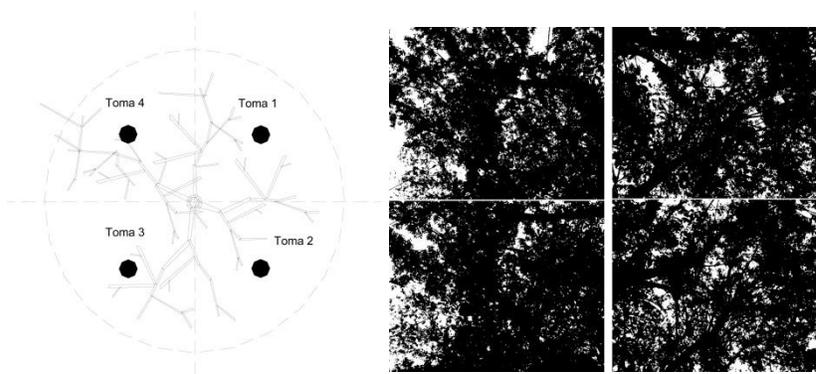
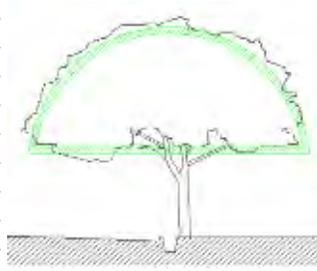


Figura 16: Imágenes blanco y negro con recorte de superficies de borde. Período primavera. Acer Tipología Individual. Forma de esférica.

Figure 16: Black and white images with border surface cropping. Spring period (date of pictures 27/09). Box elder Individual Typology. Spherical form.

Identificación	Escenario N°	27
	Manzana Forma	5
Indicadores Urbanos	Manzana Orientación	-24
	Canal Vial	19.00
	Ancho vereda	5.00
	Cantero	Verde
	Ubicación en vereda	Note
Indicadores Edilicios	Morfología Edilicia	Homo.
	Factor de Forma	0.61
	FOS	0.58
	FOT	0.58
	Saliente s/vereda	r- nr-parasoles
	Retiros	-



Denominación Foto: 8. Manzana: 04-08-06-0022 Calle: Molina Cabrera N°: 4165

Figura 17: Paraíso Sombrilla-Tipología Individual. Tipo de Copa A- Forma de paraguas.
 Figure 17: Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Crown Type A- Umbrella shape.

Tabla 5: Ficha de medición estación VERANO.
 Table 5: Schedule of SUMMER measurements.

Estación	Fecha	Hora	Foto
VERANO	23/Diciembre	07:00	1
	23/ Diciembre	07:01	2
	23/ Diciembre	07:03	3
	23/ Diciembre	07:05	4

PARAÍSO SOMBRILLA
TIPOLOGÍA INDIVIDUAL
Tipos de Copa A- Forma de parasol

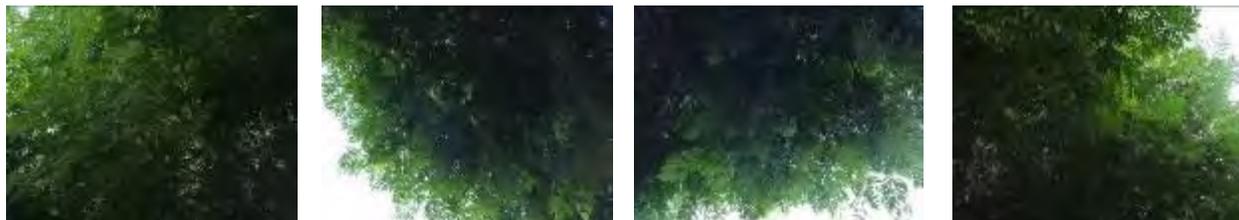
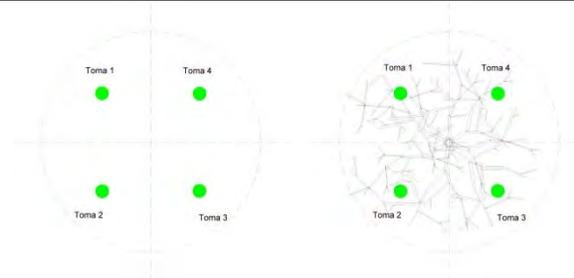


Foto 1 Foto 2 Foto 3 Foto 4

Figura 18: Fotos estación de verano. Paraíso Sombrilla-Tipología Individual. Forma de copa de paraguas.
 Figure 18: Pictures of the summer season. Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Umbrella crown shape.

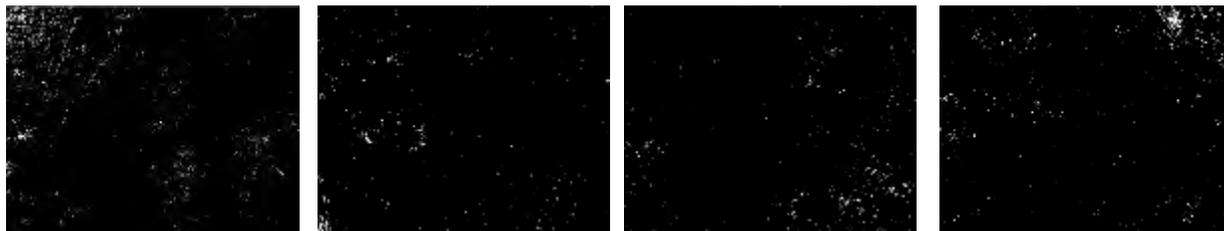


Foto 1 Foto 2 Foto 3 Foto 4

Figura 19: Imágenes blanco y negro. Estación de verano con recorte de superficies de borde. Paraíso Sombrilla-Tipología Individual. Forma de copa de paraguas. Selección de áreas de interés.

Figure 19: Black and white images with cropped border surfaces. Summer season. Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Umbrella crown shape. Selection of areas of interest.

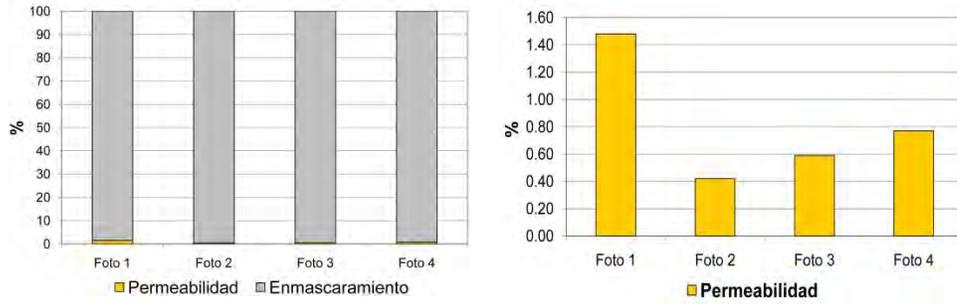


Figura 20: Porcentajes de permeabilidad y enmascaramiento en estación de verano. Paraíso Sombrilla- Tipología Individual. Forma de copa de parasol.
Figure 20: Percentages of summer season permeability and solar masking. Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Umbrella crown shape.

Tabla 6: Ficha de medición estación de INVIERNO.
Table 6: Schedule of WINTER measurements.

Estación	Fecha	Hora	Foto
INVIERNO	09/agosto	08:15	1
	09/ agosto	08:16	2
	09/ agosto	08:18	3
	09/ agosto	08:20	4

PARAÍSO SOMBRILLA
 TIPOLOGÍA INDIVIDUAL
 Tipos de Copa A- Forma de parasol

The diagrams show two circular views of the tree canopy. The left diagram is a top-down view with four measurement points labeled 'Foto 1', 'Foto 2', 'Foto 3', and 'Foto 4' distributed across the canopy. The right diagram is a side view with four measurement points labeled 'Toma 1', 'Toma 2', 'Toma 3', and 'Toma 4' distributed across the canopy.



Figura 21: Fotos estación de invierno. Paraíso Sombrilla-Tipología Individual. Forma de copa de parasol.
Figure 21: Pictures of the winter season. Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Umbrella crown shape.



Figura 22: Selección del área de interés blanco y negro. Estación de invierno con recorte de superficies de borde. Paraíso Sombrilla-Tipología Individual. Forma de copa de parasol. Selección de áreas de interés.
Figure 22: Selection of areas of interest. Black and white pictures with cropping of border surfaces. Winter season. Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Umbrella crown shape. Selection of areas of interest.

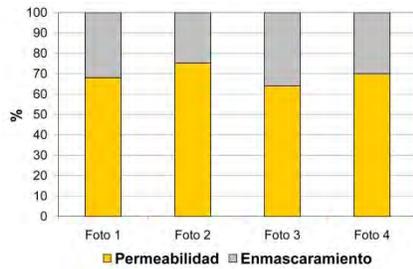


Figura 23: Porcentajes de permeabilidad y enmascaramiento en estación de invierno. Paraíso Sombrilla-Tipología Individual. Copa de parasol.
Figure 23: Percentages of winter season permeability and solar masking. Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Umbrella crown shape.

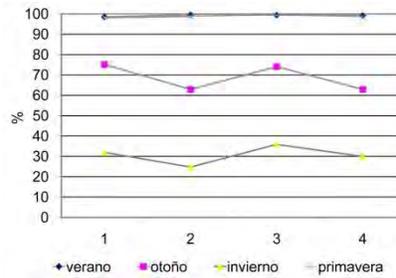


Figura 24: Porcentajes de enmascaramiento por estación. Paraíso Sombrilla-Tipología Individual. Copa de parasol.
Figure 24: Solar masking percentages for each season. Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Umbrella crown shape.

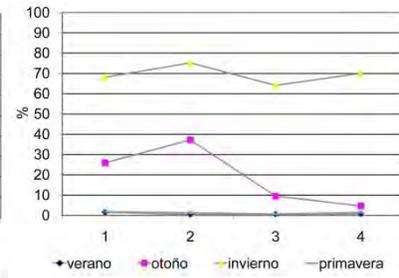


Figura 25: Porcentajes de permeabilidad por estación. Paraíso Sombrilla-Tipología Individual. Copa de parasol.
Figure 25: Permeability percentages for each season. Umbrella Chinaberry-Individual Typology. Umbrella crown shape.

Los resultados obtenidos en las Figuras 26-33 nos permiten apreciar separadamente la influencia de las dos especies arbóreas presentes en los entornos urbanos de baja densidad del AMM analizados.

En el caso de las Figuras 26 a 29 se presentan los resultados del ACER (*Acer negundo*). En la estación de calefacción se registró una disminución en la disponibilidad del recurso solar por enmascaramiento entre el 40,60% y 67,04% (Figura 27) estos valores corresponden a la obstrucción del ramaje desnudo, mientras en la estación de otoño la disminución del recurso solar presenta valores entre 43,75% y 85,15% (Figura 26). En la misma Figura la heterogeneidad de valores puede explicarse a partir de dos variables fundamentales: 1. el patrón de disposición espacial de ejemplares individuales y en condición de contiguos (ejemplares apareados) y 2. las intervenciones por poda. En la estación de verano la densidad de hojas presentes en las copas produce una homogeneidad de valores (Figura 29) (Figura 10-verano), aunque persiste una pequeña diferencia entre los ejemplares individuales y los apareados (valores del 1-16 y 16-32).

En la estación de primavera existe un ejemplar que presenta valores diversos a los valores medios; estos resultados podrían estar motivados por motivos fitosanitarios o por intervenciones de poda, problemas de riego y fertilización (dicha anomalía aparece menos acentuada en las otras estaciones del año).

En el caso de las Figuras 30 a 33 los resultados obtenidos indican que el enmascaramiento solar producido por el paraíso sombrilla (*Melia azedarach fm. umbraculifera*) es crítico con una reducción de la energía solar disponible entre el 72,90% y 91,40% en la estación de otoño y entre el 67,13% y 81,49% en la estación de invierno, debido a la alta densidad de ramaje, este valor resulta significativo siendo una especie caducifolia altamente representativa de los entornos analizados (Figuras 30 y 31. Ej. Figura 22: Fotos 1-4).

En verano los valores de enmascaramiento que tienen relación con la sombra producida por la densidad de la copa son altamente significativos entre el 93% y el 99%. (Figura 33. Ej. Ver Figura 19: Fotos 1-4)

La ventaja del paraíso sombrilla es la uniformidad morfológica, el tamaño, forma y la magnitud del forestal que si se combina correctamente con los Indicadores Urbanos y Edilicios (ancho de canal vial, ubicación en vereda, posición relativa del ejemplar, morfología edilicia, saliente sobre vereda, perfil de la construcción, retiros) podrían conseguirse óptimos resultados de superficies sombreadas sobre veredas en la estación de verano, con un buen Factor de Visión de Cielo (FVC) y de Acceso a Brisas Estivales (ABE) que contribuyen al potencial de enfriamiento radiativo y convectivo nocturno que combinado con el enfriamiento evaporativo directo o indirecto (bajo contenido de humedad atmosférica característico de las regiones áridas) permitirían sistemas de enfriamiento pasivo. Los sistemas pasivos de

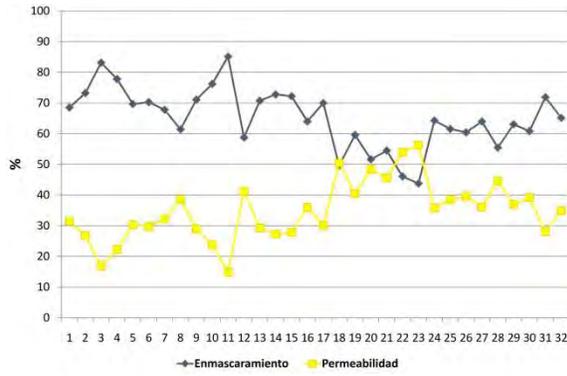


Figura 26: Otoño. ACER (Acer Negundo). Porcentaje de permeabilidad.
Figure 26: Box elder (Acer negundo). Permeability percentages.

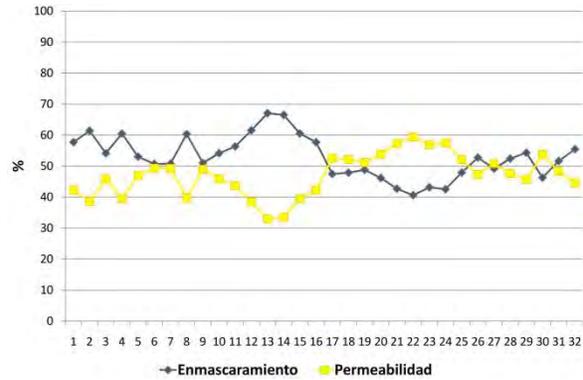


Figura 27: Invierno. ACER (Acer Negundo). Porcentaje de permeabilidad.
Figure 27: Winter. Box elder (Acer negundo). Permeability percentages.

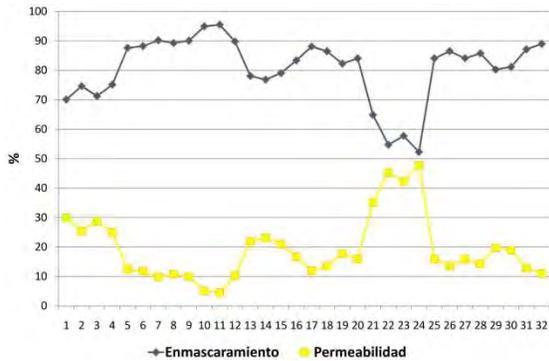


Figura 28: Primavera. ACER (Acer Negundo).. Porcentaje de permeabilidad..
Figure 28: Spring. Box elder (Acer negundo). Permeability percentages.

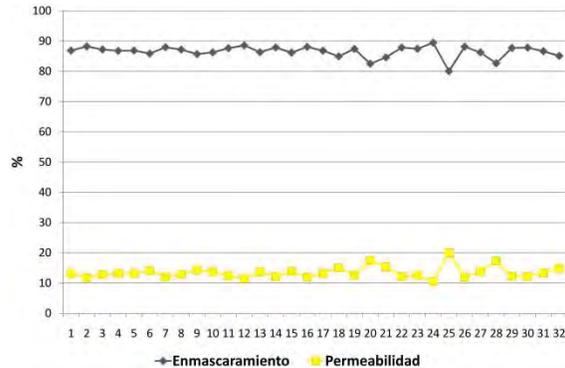


Figura 29: Verano. ACER (Acer Negundo). Porcentaje de permeabilidad.
Figure 29: Summer. Box elder (Acer negundo). Permeability percentages.

enfriamiento han demostrado ya un importante potencial de ahorros energéticos convencionales y una mejora sustancial de la calidad de vida de los habitantes urbanos en la región.

El conocimiento preciso de las reducciones en el acceso al sol en la estación de invierno, el detallado estudio de sombras arrojadas sobre fachadas, techos, calles y veredas en verano y fundamentalmente el conocimiento de las características agronómicas y morfológicas de los ejemplares son indispensables para optimizar el máximo aprovechamiento del recurso solar en invierno y permitir el enfriamiento nocturno en verano.

En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos de las distintas especies analizadas, expresados en términos de porcentaje. El criterio

de análisis de los mismos contempla la información sobre la disponibilidad del recurso en la estación fría y el bloqueo del mismo en verano.

Los valores medios alcanzados indican para estas dos especies presentes en la baja densidad que existe un enmascaramiento de la radiación solar entre el 52,89% y 75,93% en la estación de invierno y entre el 85,96% y 98,39% en verano.

Los resultados hicieron posible determinar la potencialidad de captación solar en entornos urbanos de baja densidad incorporando el arbolado urbano con sus características morfológicas y de permeabilidad (Figuras 34 y 35) y definir un indicador Factor de Asoleamiento efectivo (FAE), que permite analizar la radiación total incidente en fachadas norte (fn) y techos (t) en entornos urbanos forestados (Ecuación 1). (Arboit 2008, 2010).

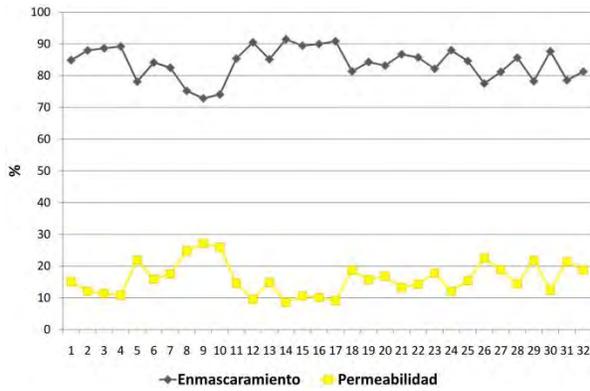


Figura 30: Otoño. Paraíso Sombrilla (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*). Porcentaje de permeabilidad.
 Figure 30: Autumn. Umbrella Chinaberry (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*). Permeability percentages. Source:

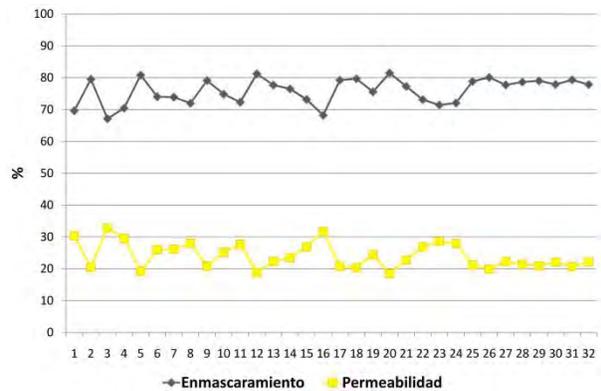


Figura 31: Invierno. Paraíso Sombrilla (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*). Porcentaje de permeabilidad.
 Figure 31: Winter. Umbrella Chinaberry (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*). Permeability percentages. Source:

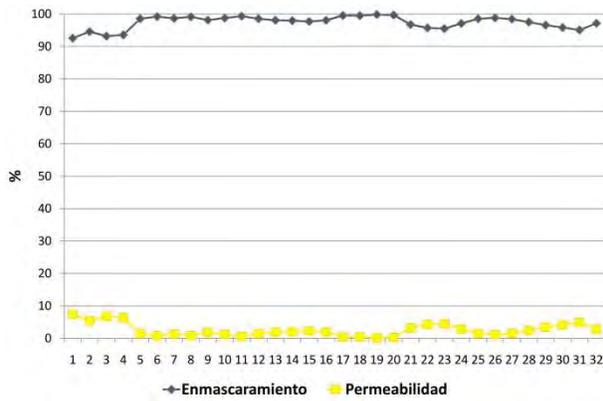


Figura 32: Primavera. Paraíso Sombrilla (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*). Porcentaje de permeabilidad.
 Figure 32: Spring. Umbrella Chinaberry (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*). Permeability percentages.

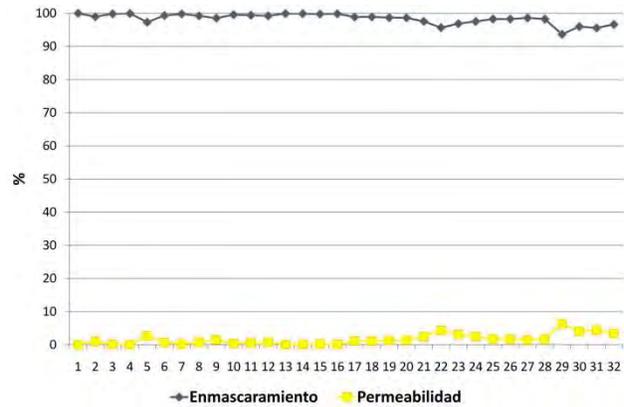


Figura 33: Verano. Paraíso Sombrilla (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*). Porcentaje de permeabilidad.
 Figure 33: Summer. Umbrella Chinaberry (*Melia azedarach* fm. *umbraculifera*). Permeability percentages.

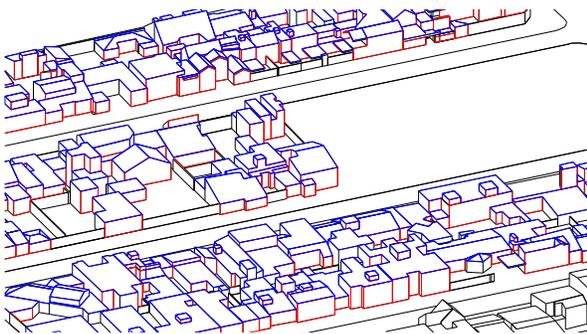


Figura 34: Imagen del cálculo del enmascaramiento sólido para determinar la potencialidad de captación solar en entornos urbanos de baja densidad.
 Figure 34: Image of the calculation of solid masking to determine potential solar access in low-density urban environments.

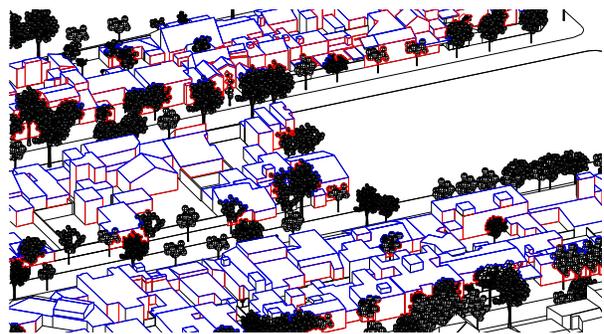


Figura 35: Imagen de la incorporación del arbolado para determinar la potencialidad de captación solar en entornos urbanos de baja densidad.
 Figure 35: Image of forest integration to determine potential solar access in low-density urban environments.

Tabla 7: Valores de permeabilidad obtenidos de mediciones para especies estudiadas en porcentaje.
Table 7: Permeability percentage values from measurements of the studied tree species.

	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
ACER	34,86	47,11	19,30	14,04
PARAÍSO	16,05	24,07	2,56	1,61

$$FAE = \frac{\sum_{m=4}^{08} \sum_{d=1}^{30} \sum_{h=9:30}^{14:30} [AFN - (AES_{m-d-h} + (AEP_{m-d-h} \cdot (1 - P_m)))] \cdot R_{m-d-h}}{AFN \cdot \sum_{m=4}^{08} \sum_{d=1}^{30} \sum_{h=9:30}^{14:30} R_{m-d-h}} \cdot 100$$

(Ecuación 1)

Dónde:

AFN: Área potencialmente colectora total en fachadas norte (m²),

AES: Área de enmascaramiento sólido (construcciones): fachada potencialmente colectora afectada por las sombras proyectadas por construcciones edilicias próximas (m²),

AEP: Área de enmascaramiento permeable (árboles): fachada potencialmente colectora afectada por las sombras proyectadas por el arbolado urbano,

Pm: Factor de Permeabilidad. Porcentajes de permeabilidad solar de cada especie vegetal (%),

R(m-d-h): Radiación en fachadas norte para cada hora, día y mes de la estación de calefacción (Wh/m²),

Sub-índices: m: mes a calefaccionar. Varía entre abril y septiembre,

d. día del mes. Varía entre 1 y 30, h: hora. Varía entre 9:00 hrs. y 18:00 hrs.

4. Conclusiones

El trabajo profundiza el conocimiento de uno de los indicadores urbanos que inciden en el potencial solar de entornos urbanos - permeabilidad del arbolado-. Los arbolados urbanos público y privado definen la situación actual de accesibilidad al recurso solar y

presentan la posibilidad mejoras futuras en las estrategias de diseño.

El estudio permitió determinar las especies existentes más usuales en los entornos de baja densidad y cuantificar la permeabilidad de dos especies de arbolado a través de un método basado en el procesamiento de imágenes fotográficas, con el fin de determinar la disponibilidad real del recurso solar en medios urbanos forestados.

Del total de 1,750 ejemplares relevados fotográficamente, 189 correspondieron a Acer (*Acer negundo*) y 159 a Paraíso sombrilla (*Melia azedarach fm. umbraculifera*) con una representatividad del 9,95% y 8,37% respectivamente; el numero muestral de 32 ejemplares contemplo 4 subclases que consideraron las características morfológicas de las copas en función del patrón de disposición espacial, por lo que se concluye que dicha muestra es representativa.

En el proceso metodológico la confiabilidad del método fotográfico ha sido previamente demostrada y contrastada con resultados de equipos de medición (Cantón 1994, 2000), (Kurbán, 2006) la limitación más importante del método es la elección de las áreas de interés para el estudio de permeabilidad que requiere de uno o varios recortes dentro de la fotografía en los cuales la experiencia del investigador juega un papel fundamental.

Para las dos especies analizadas Acer (*Acer negundo*) y Paraíso sombrilla (*Melia azedarach fm. umbraculifera*) el impacto del enmascaramiento producido por los ramajes desnudos de la arboleda urbana es considerable en invierno, esto condiciona el potencial bioclimático de los entornos urbano- edilicios. Sin embargo, esta limitación, puede ser compensada mediante mejoras en aspectos de conservación, los beneficios de la arboleda urbana en la

estación cálida son múltiples: control de la intensidad de la isla de calor urbana, absorción de contaminantes, refrescamiento y humectación del aire por evapotranspiración, reducción de las cargas térmicas de los edificios, habitabilidad de los espacios públicos abiertos y un aporte inestimable a la estética urbana.

Los resultados de este estudio permitieron la incorporación del arbolado urbano con sus características morfológicas y de permeabilidad en el análisis del potencial solar de los entornos representativos de baja densidad del AMM. El avance futuro de la investigación se orienta a realizar un estudio comparativo de los valores de potencialidad solar simulados (Modelo Gráfico y Modelo Estadístico. Arboit 2008, 2010) y los valores de radiación solar medidos en Fachadas Norte, con equipos portátiles de adquisición de datos de irradiancia (piranómetro), siempre considerando la presencia del arbolado urbano.

Se espera establecer la optimización del aprovechamiento solar para cada zona y la elaboración de lineamientos de diseño apropiados para la implementación de una legislación que regule el aprovechamiento pleno del recurso solar en la ciudad, compatibilizado con el modelo de ciudad arbolada.

Es posible alcanzar niveles aceptables de calidad ambiental urbana avanzando hacia un modelo de ciudad y de gestión que maximice el uso racional de la energía y de los recursos climáticos regionales en los edificios urbanos. De esta forma se podrían alcanzar, en forma progresiva, mejoras sustanciales en los índices de eficiencia energética y de sostenibilidad energético-ambiental de entornos urbanos en la región.

Agradecimientos

Al Arq. Carlos de Rosa y a la Arq. Alicia Cantón por su gran contribución y asistencia en sus especialidades, principalmente en la parte Metodológica, y a la Dra. Ing. Claudia Martínez por la Identificación y Cuantificación de ejemplares no evaluados hasta el momento, desde el punto de vista de la permeabilidad, y por la Selección de Ejemplares.

Referencias Bibliográficas

Arboit, M., Diblasi, A., Fernández Llano, J. C. y de Rosa, C. (2008). Assessing the solar potential of low density urban environments in andean cities with desert climates - The case of the city of Mendoza, in Argentina. *Renewable Energy*. 33, 8, pp.1733-1748.

Arboit, M., Mesa, A., Diblasi, A., Fernández, J. C. y de Rosa, C. (2010). Assessing the solar potential of low density urban environments in andean cities with desert climates - The case of the city of Mendoza, in Argentina. 2nd. Part. *Renewable Energy*. 35 pp.1551-1558.

Arboit, M. y De Rosa, C. (2012). Trazado urbano para la sostenibilidad energético ambiental del parque edilicio en ciudades andinas. Caso: Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 29, pp. 25-32.

Arboit, M. (2008). Optimización de la morfología urbana para el desarrollo ambiental y energéticamente sustentable de ciudades andinas de clima árido. El caso del área metropolitana de Mendoza. Tesis Doctoral. Universidad de Mendoza.

Arnold, H.F. (1980). *Trees in Urban Design*. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Basso, M., Fernández, J.C., Mesa, N., Córca, M. L y De Rosa C. (2003) Urban morphology and solar potential of the built environment in Andean Cities of Hispanic Layout. Assessing proposals towards a more sustainable energy future. 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture, PLEA. Santiago – Chile.

Bernatzky, A. (1982). The contribution of trees and green spaces to a town climate. *Energy Build*.

Bórmida, E. (2005). Mendoza. Guía de arquitectura. Mendoza, Sevilla, Brizzolis.

Brager, G, y De Dear, R. (2001). Climate, Comfort and Natural Ventilation: A new adaptive comfort standard For ASHRAE Standard 55. *Proceedings of the Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century*. pp.01-18, Windsor, UK.

Cantón A., Cortegoso J.L. y De Rosa, C. (2000). Evaluación energético - ambiental del bosque urbano: desarrollo y puesta a punto de un método de análisis. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 4,1,13-17.

Cantón M. A., Cortegoso J.L., Mesa, N.A. y De Rosa C. (2001). Sustentabilidad energética del parque edilicio en entornos urbanos forestados. Análisis de la disponibilidad del recurso solar en la estación fría. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 5, 1, pp. 01.27-01.32.

Cantón, M. A., Cortegoso, J. L. y De Rosa, C. (1994). Cuantificación del efecto del arbolado en tramas urbanas. Primeros resultados de la aplicación de un modelo de cálculo analítico computacional. *Actas de la XIX Reunión de Trabajo de ASADES*. Rosario, Santa Fe, p.p. 223-228.

Cantón, M. A., Cortegoso, J. L. y De Rosa, C. (1994). Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina. *Energy & Buildings-Berkeley-USA*, 20, 3, pp. 219-230.

Cantón, M. A., Cortegoso, J. L. y De Rosa, C. (2003). Assessing the solar resource in forested urban environments: results from the use of a photographic-

- computational method. *Architectural Science Review*, 46, 2, pp. 115-123.
- Cantón, M. A., Cortegoso, J. L. y De Rosa, C. (2004). Evaluación de modelos de desarrollo del arbolado urbano desde la perspectiva de la habitabilidad de los espacios abiertos en verano. Congreso internacional. ENTAC04. Guanajuato, México.
- Cantón, M. A., Cortegoso, J. L. y De Rosa, C. (2000). Environmental and energy impact of the urban forest in arid zone cities. *Architectural Science Review*, 44,1, 3-16. Department of Architectural and Design Science. University of Sydney. Sydney, Australia.
- Clark, J. R., Matheny, N. P., Cross, G. y Wake, V. (1997). A model of urban forest sustainability. *Journal Arboriculture* 23, 17-30.
- Córica L., Patini A. y De Rosa C. (2004). Potencial de iluminación natural de espacios habitables en función de la morfología urbana circundante, para climas soleados. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Salta, Argentina.
- Correa, E. (2008). Isla de Calor Urbana – El caso del Área Metropolitana de Mendoza. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta.
- De Rosa C, et. al. (1988). Low-cost Passive Solar Homes built in a Tempered Arid Climate. Thermal and Economic Evaluation. *Proceedings of the 6th. International PLEA Conference*, pp. 795-802. Porto, Portugal.
- Dirección de Planificación Urbanística de la Ciudad de Mendoza. (2009). Ordenanza de Zonificación por Indicadores Urbanos.
- Fernández, J., Esteves, A. y De Rosa C. (1992). Zonificación climática de la Provincia de Mendoza. XV Reunión de Trabajo de ASADES. San Fernando del Valle de Catamarca.
- Flemer, W. (1981). Mixing species of shade trees for beauty and safety. *Journal Arboriculture*.
- Jenks, M., Burton, E. y Williams, K. (1996). The Compact City. A Sustainable Urban Form? E&FN SPON. UK.
- Kurbán, A., Papparelli, A. y Cúnsulo, M. (2002). Aporte de la forestación al control del clima urbano en zona árida. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 6, 1, 05.43-05.48
- Martínez, C., Roig, F., Cavagnaro, B. y Cantón, A. (2008). Arbolado urbano: impacto del estrés hídrico en el crecimiento de forestales jóvenes de uso común en ciudades áridas, Mendoza, Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Cap. 1, 33-36.
- Mascaró, L. (1996). *Ambiencía urbana*. European Comisión, Directorate-General XVII, Energy. Faculdade de Arquitetura – UFRGS. Sagra – D.C. Luzzato Editores, Porto Alegre.
- Mcpherson, E. G. (1992). Accounting for benefits and cost of urban greenspace. *Landscape and Urban Planning*.
- Mesa, N.A. (2000). Determinación de áreas de fachadas potencialmente colectoras en medios urbanos, a través de un modelo gráfico-computacional. *Memorias: ISES Millennium Solar Forum*. ANES, México, DF.
- Montaña, E. (2005). De la Cultura del Riego y del Aménagement du Territoire a la Vulnerabilidad del Patrimonio Urbano. El Sistema Calle-Acequia-Árbol en la Ciudad-oasis de Mendoza, en Argentina; *Cahiers de l'Amérique Latine*, CREDAL, Paris, Francia.
- Owens S. (1986). *Energy planning and urban form*. London: Pion Ltd.
- Panasiti, A. (1994). Los espacios verdes en el ordenamiento territorial del Gran Mendoza. Universidad Nacional de Cuyo.
- Papparelli, A., Cúnsulo, M., Montilla, E. Y Kurbán, A. (1996). Eficiencia bioclimática arbórea en entornos urbanos de zona árida. *Actas de la XIX Reunión de Trabajo de ASADES Tomo II*. pp. 9.05-9.09.
- Pastor, G. (2010). Consideraciones sobre el impacto en el Paisaje Urbano de Mendoza a partir de las Reformas propuestas al Código Urbano y de Edificación de la Ciudad de Mendoza, inédito.
- Richards, N. (1992). Optimum stocking of urban trees *Journal Arboriculture*
- Rowntree, R.A. (1986). Ecology of the urban forest-introduction top art II. *Urban Ecol*.
- Sánchez, D. y Pastor, G. (2009). El Patrimonio Cultural en la Modelización de los Futuros Escenarios de Ordenación + Sostenibles. Ponencia publicada en *Actas del II Congreso Internacional de Medida y Modelización de la Sostenibilidad*. ICSMM 09. Barcelona, España.
- Santamouris, M. (2000) *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. James and Jamnes. London.
- Scudo, G. y Ochoa De La Torre, J. M. (2003). *Spazi Verdi Urbani. La vegetazione come strumento di progetto per il confort ambientale negli spazi abitati*. Esselibri. Napoli.
- Tacchini, J. et al. (1994) *Mendoza en el 2000. Proyecto de ordenamiento territorial para la provincia I. Plan sectorial para el Gran Mendoza*. Centro Coordinador de Ediciones Académicas. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo.